



BANCO CENTRAL DE BOLIVIA

**Gerencia de Operaciones Internacionales
Subgerencia de Reservas
Departamento de Negociaciones de Inversión**

Estructura temporal de las tasas de interés en la administración de las reservas internacionales del Banco Central de Bolivia

Luis Marcelo Carvajal A.*

Nota técnica No. 10

Revisado por: Walter Erik Guzmán Tordoya

Diciembre de 2016

* El presente trabajo no refleja necesariamente la visión del Banco Central de Bolivia ni de sus autoridades, siendo las opiniones vertidas de exclusiva responsabilidad del autor.

Resumen

La determinación de la estructura temporal de las tasas de interés es fundamental para poder realizar pronósticos adecuados de cómo pueden cambiar estas tasas en el tiempo, permitiendo optimizar la administración de las reservas internacionales. Consecuentemente se analizan las metodologías más relevantes en este contexto dirigido a la modelación de la curva de rendimientos en el mercado financiero de Estados Unidos, ya que la mayor parte de las inversiones del Banco Central de Bolivia se realiza en este mercado.

Palabras Clave: *Estructura temporal de tasas de interés, administración de reservas internacionales, pronósticos*

Time structure of interest rates in the foreign exchange reserves management

Abstract

Determining time structure of interest rates is the main task to forecast changes of interest rates over time. This procedure is useful to optimize the foreign exchange reserves management. Consequently, in this environment this paper analyzes the main methodologies focused on modeling United States financial market yields curve due to a large part of investments of Central Bank of Bolivia is done in this financial market.

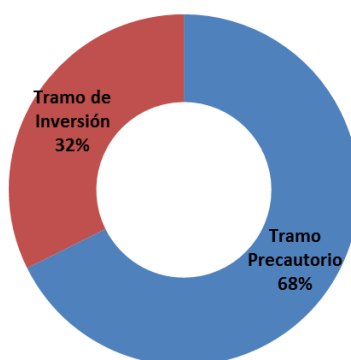
Keywords: *Time structure of interest rates, foreign exchange reserves management, forecasts*

I. Introducción

Las reservas monetarias internacionales en el Banco Central de Bolivia (BCB), son administradas segregándolas en dos tramos, estos son el tramo precautorio, cuyo nivel es determinado por las necesidades de liquidez que se necesitan para hacer frente al pago de obligaciones del país con el exterior, -este tramo está compuesto en su totalidad por dólares norteamericanos (USD)- y por otro lado, se tiene el tramo de inversión que a su vez está compuesto por las inversiones en otras monedas distintas a USD como euros (EUR), dólares canadienses (CAD), dólares australianos (AUD) y yuanes chinos (CNH/CNY). Este tramo se caracteriza por mantener inversiones con vencimientos más largos que los del tramo precautorio y busca diversificar las inversiones de las reservas internacionales. El tramo precautorio representa 68% de las reservas monetarias, mientras que el restante 32% corresponde al tramo de inversión (Gráfico 1).

Gráfico 1: COMPOSICIÓN POR TRAMOS DE LAS RESERVAS MONETARIAS DEL BCB AL 28 DE OCTUBRE DE 2016

(En porcentaje)

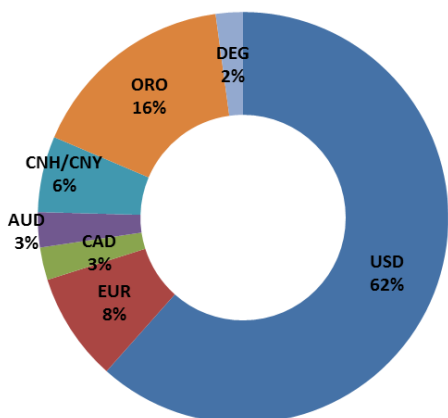


Fuente: Elaboración propia con datos del BCB

Considerando la composición de monedas de las reservas internacionales totales, la participación de USD alcanza a 62%, por lo que la relevancia de poder modelar la estructura temporal de tasas de interés es evidente (Gráfico 2).

Gráfico 2: COMPOSICIÓN POR MONEDAS DE LAS RESERVAS INTERNACIONALES DEL BCB AL 28 DE OCTUBRE DE 2016

(En porcentaje)



Fuente: Elaboración propia con datos del BCB.

Por la importancia que tiene el mercado financiero estadounidense para la administración de las reservas internacionales del BCB, es que el presente documento plasma los mecanismos más conocidos para modelar la curva de rendimiento de este mercado o su estructura temporal de tasas de interés.

En consecuencia, la segunda parte de esta redacción muestra los aspectos teóricos de los modelos Nelson-Siegel y Nelson-Siegel-Svensson para la modelación de las curvas de rendimiento. La tercera parte describe la metodología de la investigación. La cuarta parte refleja los resultados analíticos de la implementación de este modelo. Mientras que la quinta parte se concentra en la realización de pronósticos sobre esta estructura para poder capturar las variaciones representativas que pudiesen afectar de forma significativa a las inversiones en USD que se realiza en el BCB. Y la sexta parte plantea las conclusiones y limitaciones del presente documento.

II. Revisión teórica

Ante la necesidad global de entender el comportamiento de la curva de rendimientos, aparecieron distintos métodos por los cuales se puede capturar algunos puntos faltantes en diferentes maduraciones.

Entre los métodos más conocidos y utilizados en los mercados financieros se encuentran modelos no paramétricos como los *splines* y la interpolación. Entre los métodos paramétricos, el más conocido es el modelo propuesto en Nelson y Siegel (1987) en el

que se reconoce la necesidad de encontrar una forma parsimoniosa de reflejar la relación rendimiento/madurez.

Para poder modelar y estimar la forma de la curva de rendimientos, generalmente se generan soluciones de ecuaciones en diferencias. Siguiendo la teoría de la estructura temporal de las tasas de interés, se gesta una motivación heurística para este procedimiento, ya que si las tasas *spot* son generadas por una ecuación diferencial, las tasas *forward* al ser pronósticos, serán las soluciones de las primeras.

Si la tasa *forward* instantánea en una madurez m , denotada como $r(m)$ está dada por la solución a la ecuación diferencial de segundo orden con raíces iguales y reales, entonces se tendría:

$$r(m) = \beta_0 + \beta_1 \exp(-m/\tau_1) + \beta_2 \exp(-m/\tau_2) \quad (1)$$

donde:

τ_1 y τ_2 son constantes relacionadas con la ecuación

β_0 , β_1 y β_2 se determinan por las condiciones iniciales.

La ecuación (1) genera curvas de tasas *forward* monotónicas con forma de “S” dependiendo de los valores que adopten β_1 y β_2 y con una asíntota en β_0 . El rendimiento a madurez será el promedio de estas tasas *forward*.

$$R(m) = 1/m \int_0^m r(x) dx \quad (2)$$

Sin embargo, como lo describen Nelson y Siegel (1987) la adecuación de esta especificación a *T-bills* sugiere la existencia de una sobre parametrización por la amplitud de los valores que podría tomar τ_1 y τ_2 , además que la estimación no lineal del modelo no converge adecuadamente.

Ante este dilema, el siguiente modelo es capaz de generar el mismo rango de formas en la curva de rendimientos de manera más parsimoniosa, solamente con la estimación de τ en vez de estimar dos parámetros similares.

$$r(m) = \beta_0 + \beta_1 \exp(-m/\tau) + \beta_2 [(m/\tau) \exp(-m/\tau)] \quad (3)$$

Para obtener rendimientos como una función de la madurez para raíces iguales, la ecuación (3) debe integrar la función $r(\cdot)$, partiendo de 0 a m y luego dividiéndola entre m , dejando la siguiente función:

$$R(m) = \beta_0 + \frac{(\beta_1 + \beta_2) \left[1 - \exp\left(-\frac{m}{\tau}\right) \right]}{\left(\frac{m}{\tau}\right)} - \beta_2 \exp(-m/\tau) \quad (4)$$

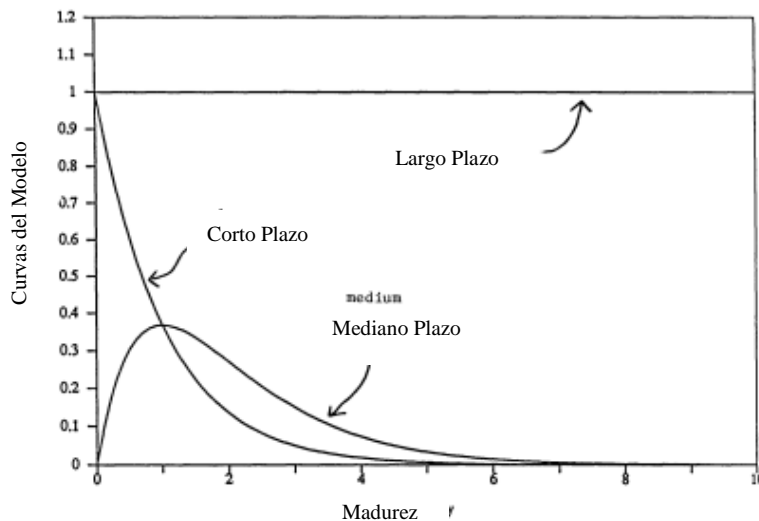
Esta última expresión, al igual que la (3), tiene coeficientes lineales dado el valor de τ . El valor limitante de $r(m)$ en la medida que m se hace más grande y m se hace más pequeño es $(\beta_0 + \beta_1)$ la cual es necesariamente la misma para la función de la tasa *forward*.

El rango de formas disponibles de la curva de rendimientos dependerá de un solo parámetro dado que $\tau = 1, \beta_0 = 1$ y $\beta_0 + \beta_1 = 1$

La interpretación de los parámetros del modelo es la de medidas de fuerza de corto, mediano y largo plazo. La contribución del largo plazo viene determinada por el parámetro β_0 , el componente de corto plazo es β_1 , la contribución de mediano plazo viene de β_2 .

Cabe mencionar que el componente de largo plazo es constante y no decae a 0 en el límite. El término de mediano plazo empieza en 0 para terminar nuevamente en 0 tras alcanzar un pico. El término de corto plazo comienza en niveles similares a los del componente de largo plazo y exhibe una caída significativa hasta 0.

Gráfico 3: DESCOMPOSICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO NELSON-SIEGEL
(En porcentaje)



Fuente: Extraído de Nelson y Siegel (1987) p. 477

Finalmente la simplificación utilizada para el cálculo del modelo es:

$$r(m) = \beta_0 + \beta_1 \left[\frac{1 - \exp(-m/\tau)}{m/\tau} \right] + \beta_2 \left[\frac{1 - \exp(-m/\tau)}{m/\tau} - \exp(-m/\tau) \right] \quad (5)$$

Sin embargo, como β_2 está ponderada por el tiempo a madurez solo tiene impacto en la parte corta de la curva, es por eso que Svensson (1994) propone la inclusión de un término más en la ecuación de Nelson y Siegel, la cual tiene la particularidad de capturar los efectos registrados en los tramos largos de la curva.

La especificación del modelo se muestra a continuación:

$$r(m) = \beta_0 + \beta_1 \left[\frac{1 - \exp(-m/\tau_1)}{m/\tau_1} \right] + \beta_2 \left[\frac{1 - \exp(-m/\tau_1)}{m/\tau_1} - \exp(m/\tau_1) \right] + \beta_3 \left[\frac{1 - \exp(-m/\tau_2)}{m/\tau_2} - \exp(-m/\tau_2) \right] \quad (6)$$

Entre las diferencias que podemos encontrar entre ambos modelos dentro de su especificación, es que el primero debe estimar 4 parámetros: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \tau$, mientras que el segundo modelo necesita estimar dos parámetros adicionales: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \tau_1, \tau_2$.

Por otra parte, las restricciones especificadas en el modelo planteado por Nelson y Siegel (1987) se mantienen como se demostró en el Gráfico 3. Los valores de τ_2, τ_2 son fijos, y la estimación de los parámetros podría definirse a través de la minimización de las tasas de interés del modelo y las tasas de interés de mercado, generalmente a través de algún algoritmo de mínimos cuadrados ordinarios u otro no lineal.

III. Metodología

Para poder hacer una estimación adecuada de los modelos planteados anteriormente, es necesario contar con las tasas de interés de activos libres de riesgo de la economía de EE.UU., es decir con las tasas de las distintas letras y bonos de este gobierno. Las cuales se encuentran disponibles bajo distintas fuentes de información privadas como públicas.

Sin embargo, se debe recurrir a una transformación de estas denominadas tasas *spot* a tasas cero cupón, que representa el interés del activo financiero si este estuviese valorado a descuento y adicionalmente percibe la tasa de descuento.

La obtención de las tasas cero-cupón se realizó de la base de datos de Bloomberg para todos los tramos de la curva. En el Cuadro 1 se presentan las estadísticas descriptivas de cada una de estas series.

**Cuadro 1: ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LAS SERIES TEMPORALES DE
TASAS DE INTERÉS ENE-2000 A NOV-2016¹**

(En porcentaje)

MADUREZ	MEDIA	DESV. EST.	MIN.	MAX.	$\rho(1)$	$\rho(2)$	$\rho(6)$	$\rho(12)$
3 Meses	1,69	1,96	0,02	6,47	0,98	0,96	0,84	0,58
6 Meses	1,80	2,02	0,04	6,74	0,98	0,96	0,83	0,58
1 Año	1,91	1,99	0,10	6,88	0,98	0,96	0,83	0,61
2 Años	2,15	1,86	0,22	6,84	0,98	0,95	0,82	0,64
5 Años	2,93	1,57	0,62	6,81	0,97	0,93	0,80	0,78
10 Años	3,73	1,25	1,52	6,76	0,95	0,91	0,76	0,65
30 Años	4,41	0,94	2,37	6,29	0,94	0,88	0,71	0,57

Fuente: Elaboración propia con datos de Bloomberg.

Considerando un período de análisis desde principios del año 2000 hasta agosto de 2016, se observa una estabilidad histórica aceptable, aunque los valores mínimos se encuentran registrados a partir de 2013 para todos los tramos de la curva.

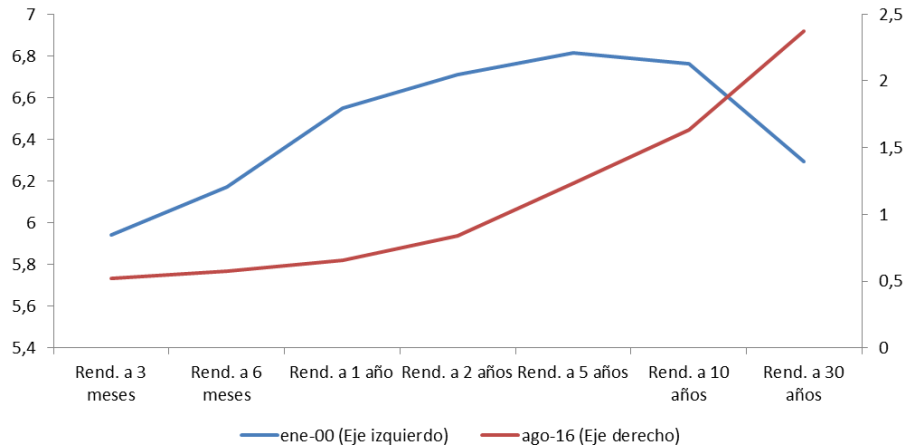
Cabe destacar que este análisis captura varios ciclos económicos, entre los que se incluye la crisis *subprime*.

Adicionalmente se observan autocorrelaciones elevadas para todos los tramos de la curva y sus rezagos, aunque a medida que se aleja más la maduración este estadístico tiende a ser menor. Asimismo, se reduce en la medida que se realiza el mismo con más rezagos.

Comparando toda la estructura de la curva se observan los registros de la primera y la última observación, mostrando diferencias significativas como en el rendimiento a 3 meses, que para enero del año 2000 fue de 5,9%, mientras que en agosto de 2016, en una nueva coyuntura, la misma tasa fue de 0,5%. Como se ve, es un cambio relevante y justifica la modelización con fines de proyección para minimizar el riesgo de mercado por movimientos negativos de la tasa de interés (Gráfico 4).

¹ Si bien las estadísticas descriptivas abarcan hasta noviembre de 2016, el desarrollo de los modelos solamente incluyeron la muestra hasta agosto de 2016 para poder evaluar las proyecciones hacia adelante.

**Gráfico 4: CURVAS DE RENDIMIENTO CUPÓN CERO
(En porcentaje)**



Fuente: Elaboración propia con datos de Bloomberg.

Estrictamente en la modelación se utilizó el paquete de programación R Studio para la determinación de las curvas de rendimiento, y en el caso de los pronósticos y modelación autorregresiva se utilizó el paquete econométrico EViews.

Empíricamente, la determinación de los modelos planteados debe ser considerada como dinámica, en el sentido que cada uno de los parámetros de las ecuaciones características va cambiando en el tiempo y se debe actualizar el modelo de forma periódica. Existen métodos como el descrito en Shreve (2004) en el que se especifica una solución cerrada para la aproximación de Vasicek, o el modelo resuelto con métodos numéricos para datos en tiempo continuo característico de Cox-Ingersol-Ross.

En el presente trabajo se utiliza la aproximación de parámetros dinámicos propuesta por Diebold y Li (2006) en el que se generan distintos valores para los parámetros a lo largo del tiempo, y con fines de pronóstico se usan métodos de modelación autorregresiva de cada uno de ellos.

IV. Resultados

La presentación de los resultados se hará de forma paralela entre el modelo de Nelson y Siegel puro y la extensión de Svensson. En este sentido, para el primer modelo se utilizó la especificación (5) y para el segundo modelo la especificación (6). En ambos casos el objetivo es la obtención de las tasas de interés *spot* correspondientes a horizontes de inversión determinados en la curva de rendimientos.

En términos generales, las estimaciones de ambos modelos son muy aproximadas a la curva de rendimientos observada. Sin embargo, a pesar de la ventaja teórica del modelo Nelson-Siegel-Svensson al capturar la curvatura en los tramos cortos, parece no generar resultados significativamente distintos a los generados por el modelo Nelson-Siegel.

Con diferencias absolutas para la observación de agosto, el resultado de Nelson y Siegel se aproxima más a la curva observada en los tramos de 6 meses, 5 años y 30 años, por lo que se deduce que este modelo captura bien la forma genérica de la curva y no tan bien en los tramos intermedios (Cuadro 2).

El resultado de Nelson-Siegel-Svensson es capaz de capturar de mejor manera las tasas de interés en el resto de los tramos sin alejarse demasiado en el primer y último tramos, lo que es beneficioso al momento de la toma de decisiones cuando existen movimientos no paralelos de la curva de rendimientos en ciertos puntos de la curva de rendimientos.

Cuadro 2: ESTIMACIONES MODELOS NELSON-SIEGEL (NS) Y NELSON-SIEGEL-SVENSSON (NSS)

	Curva Observada (Agosto 2016) (%)	Ajustes		Dif. Obs-NS (%)	Dif. Obs-NSS (%)
		Nelson Siegel (%)	Nelson Siegel Svensson (%)		
3 Meses	0,52	0,53	0,53	0,01	0,01
6 Meses	0,58	0,58	0,56	0,00	-0,01
1 Año	0,66	0,66	0,66	0,00	0,00
2 Años	0,84	0,82	0,85	-0,01	0,01
5 Años	1,23	1,21	1,21	-0,02	-0,02
10 Años	1,64	1,66	1,66	0,02	0,02
30 Años	2,37	2,36	2,36	-0,01	-0,01

Fuente: Elaboración propia con datos de Bloomberg y estimaciones propias.

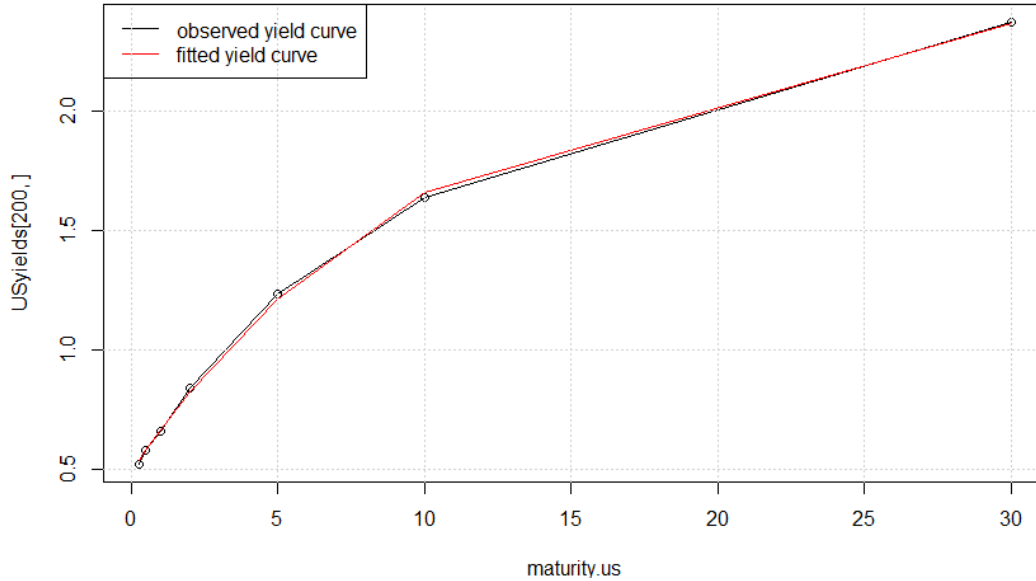
En este sentido, el ajuste más representativo es que NSS da resultados más ajustados a la curva observada, especialmente entre los tramos de 2 a 5 años; empíricamente este tramo se considera como el más volátil de la curva de rendimientos de Estados Unidos.

A pesar de la ventaja de NSS sobre la estimación NS por la diferencia entre ambas aproximaciones, es posible mencionar que la ventaja no representa un avance significativo entre ambas estimaciones de forma estática únicamente, por lo que podrían considerarse casi equivalentes (Gráfico 5).

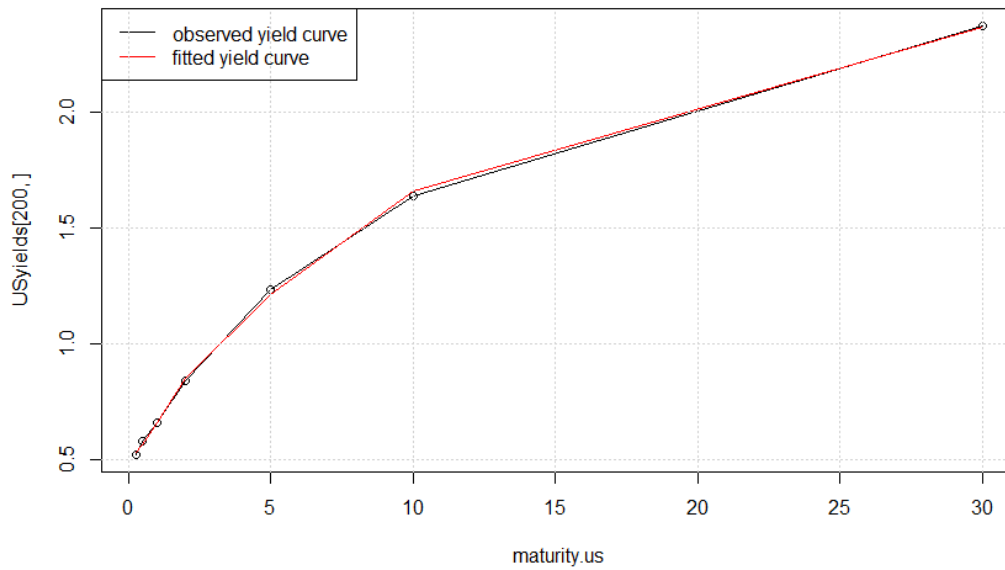
Gráfico 5: CURVAS DE RENDIMIENTO OBSERVADA Y AJUSTADA BAJO LA METODOLOGÍA NS y NSS

(En porcentaje)

Fitting Nelson-Siegel Yield Curve



Fitting Nelson-Siegel-Svensson Yield Curve



Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que las gráficas de las curvas de rendimiento estimadas se las realizó a agosto de 2016, pero también existen valores correspondientes para cada una de las 200 observaciones tomadas y ajustadas a su curva observada.

Como se mencionó en la revisión teórica, este es un análisis dinámico, por lo que se considera que los parámetros estimados no son constantes en el tiempo, es decir que van variando.

Tras obtener los resultados de las tasas *spot* y con el objetivo de realizar pronósticos respecto a la estructura temporal de las tasas de interés, es necesario continuar con el análisis sobre el comportamiento de los parámetros de ambos modelos y determinar si son de carácter estable o no.

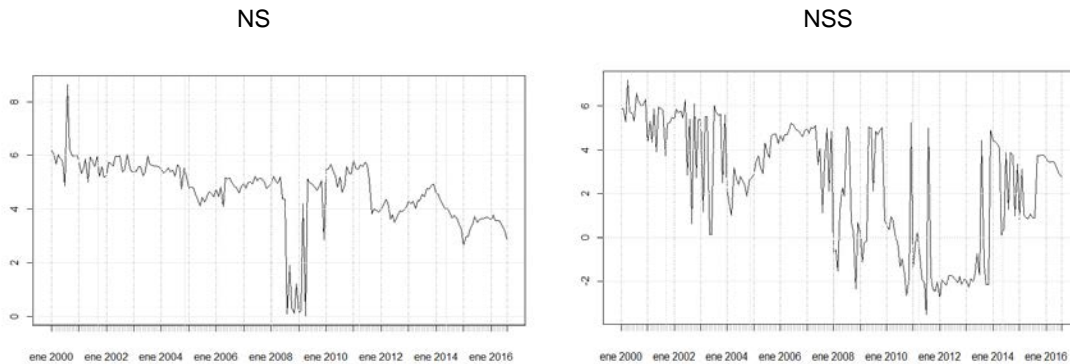
En primera instancia se analiza el parámetro β_0 que representa la tasa de interés de largo plazo.

En este caso, se destaca que la estimación de este parámetro bajo la metodología NS va de un valor mínimo de 0,034 hasta alcanzar un valor máximo de 8,68, con una media de 4,66, lo que indica que los valores fluctúan entre valores positivos, lo cual va de acuerdo con lo que estipula el modelo. No obstante, se registran valores bastante bajos justamente en 2009, reflejando el efecto de la crisis financiera. Y la serie en su totalidad refleja una tendencia negativa como resultado del proceso de tasas de interés bajas.

En el caso de la estimación de β_0 para el modelo NSS, la serie sí exhibe valores negativos con un valor mínimo de -3,51, un valor máximo de 7,15 y una media de 2,51; claramente se detecta una serie mucho más volátil al ser capaz de capturar no solo los tramos principales de la curva de rendimientos. Y no solamente existen valores muy bajos en épocas de crisis, sino que el parámetro captura el efecto en períodos posteriores (Gráfico 6).

En general y por criterios de interpretación se podría considerar solo los valores positivos, ante la no existencia de las tasas negativas, pero este hecho ya no es real puesto que en algunos mercados ya se manejan este tipo de tasas de interés aunque en el mercado estadounidense aún no se llegó a tales extremos.

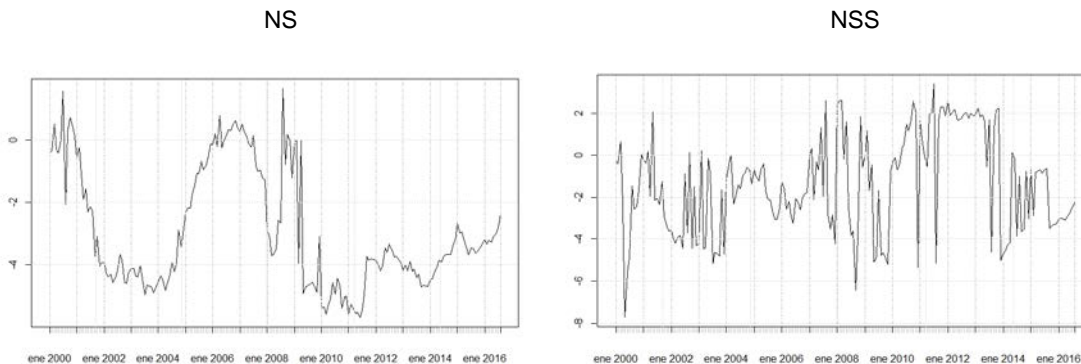
Gráfico 6: COMPORTAMIENTO β_0 , NS Y NSS
(En valores)



Fuente: Elaboración propia.

Con relación al parámetro β_1 , se observa el comportamiento fluctuante característico de las tasas de corto plazo para la modelación del parámetro en NS, comenzando en valores cercanos a 0, y en la mayor parte de las estimaciones el parámetro es negativo por la contribución de corto plazo que tiene. En el caso de la estimación del parámetro para el modelo NSS la serie es igualmente fluctuante, pero con niveles de volatilidad muy altos y valores, en su mayor parte, en cifras negativas por la volatilidad en la modelación de corto plazo (Gráfico 7).

Gráfico 7: COMPORTAMIENTO β_1 , NS y NSS
(En valores)

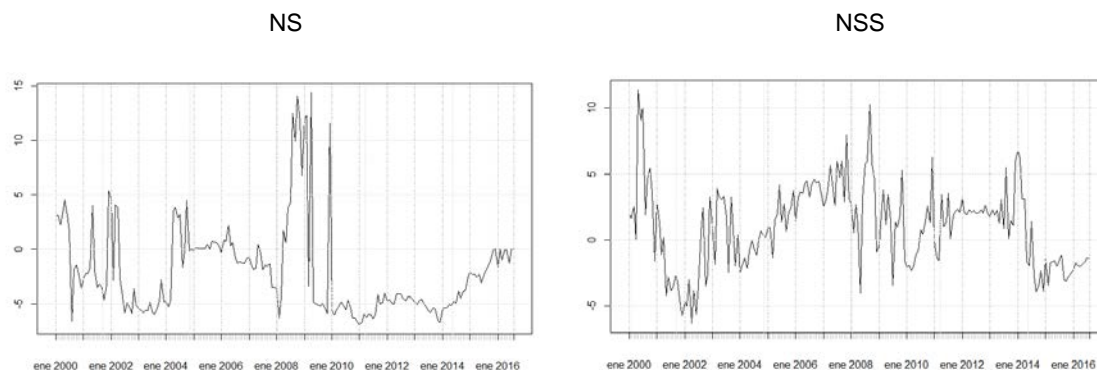


Fuente: Elaboración propia.

Para la interpretación del parámetro β_2 , que caracteriza a la curvatura de la estructura temporal de tasas de interés, este muestra variaciones significativas entre valores positivos y negativos para ambos tipos de modelaciones. Como se observa, los períodos

de volatilidad más elevados en ambos casos, abarcan la etapa de crisis entre 2008 y 2010 (Gráfico 8).

Gráfico 8: COMPORTAMIENTO β_2 , NS Y NSS
(En valores)



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente el parámetro β_3 que no tiene una interpretación empírica clara y que solo aparece en la aproximación NSS, fluctúa fuertemente entre valores de -15,59 y 27,21 alcanzando un valor medio de 4,95.

Con relación a los parámetros τ_1 y τ_2 , el primero representa cuan pronunciada está la pendiente en la curva de rendimientos, mientras que el segundo parámetro representa los puntos máximos y mínimos de cada función característica de Laguerre².

En este punto se determinó de forma precisa el ajuste de los modelos propuestos a la curva de rendimientos de instrumentos soberanos de Estados Unidos. No obstante el objetivo final no es solo la modelación de las curvas, sino la capacidad de poder pronosticar las mismas en el corto plazo.

V. Pronóstico de la curva de rendimientos

Para la realización de los pronósticos se utilizaron modelos autorregresivos de primer orden, debido a que como se trata de series financieras, se consideran como procesos estocásticos sin memoria.

² Los parámetros τ_1 y τ_2 generalmente son constantes, y si bien más adelante se analiza sus evoluciones con fines de pronóstico, se utiliza simplemente el último valor obtenido en la calibración NS y NSS.

Para este procedimiento se utilizará la metodología Box Jenkins en la predicción de cada uno de los parámetros del modelo NSS, para posteriormente estimar el movimiento en la serie temporal de la estructura de tasas de interés.

En el primer paso, se prueba si las series de los parámetros son estacionarias con la implementación de la prueba de Dickey-Fuller Aumentada, la revisión de los correlogramas y un análisis gráfico. En este punto, se observó que las mismas no son estacionarias al 99% de confianza, por lo que se debe realizar una transformación para modelar adecuadamente las series.

Aplicando las primeras diferencias se verificó que las series en su totalidad son estacionarias.

A continuación, se estimaron los parámetros para una aproximación de tipo AR(1), debido a que como se mencionó anteriormente este tipo de series no tiene memoria y solo dependería de la última observación³. Al proceder con esta especificación con base fundamentalmente empírica, no es necesario corroborar que las propiedades de los residuos son las adecuadas. Las pruebas se presentan en el Apéndice.

Este procedimiento se realizó para ambos modelos, tanto para NS como para NSS. Finalmente, se procedió con el pronóstico de cada uno de los parámetros para observar cómo se ajustan a la realidad.

En la estimación de los parámetros para el modelo NS se observa que cada uno de ellos es significativo, excepto los interceptos⁴, hecho similar al que ocurre con la estimación de parámetros en NSS.

Por otra parte, se encuentra que el estadístico R^2 ajustado tanto en NS como NSS es relativamente bajo, pero no afecta las propiedades de los modelos, debido a que el valor del estadístico aumenta con el incremento de variables explicativas pero reduce los grados de libertad y adicionalmente merma el criterio de parsimonia. Cabe señalar que el R^2 ajustado en series temporales puede ser omitido como criterio de bondad de ajuste, ya que el mismo es más útil en modelos de tipo de corte transversal (Cuadro 3).

³ Los test y verificación de la metodología Box Jenkins aplicada se encuentra en el Apéndice.

⁴ La no significancia estadística de estos parámetros no afecta los resultados o condiciones de pronóstico de los modelos planteados.

Cuadro 3: ESTIMACIONES MODELOS AUTORREGRESIVOS PARA NS y NSS
(En valores)

					NSS				
					Parámetros	Valor	P-value	R ²	
					Beta_0	Intercepto	-0,02	0,88	0,18
						AR(1)	-0,43	0,00	
					Beta_1	Intercepto	-0,01	0,93	0,17
						AR(1)	-0,42	0,00	
					Beta_2	Intercepto	-0,02	0,89	0,13
						AR(1)	-0,37	0,00	
					Beta_3	Intercepto	-0,03	0,95	0,18
						AR(1)	-0,43	0,00	
					Tau_1	Intercepto	0,00	1,00	0,14
						AR(1)	-0,38	0,00	
					Tau_2	Intercepto	-0,01	0,98	0,30
						AR(1)	-0,55	0,00	

					NS				
					Parámetros	Valor	P-value	R ²	
					Beta_0	Intercepto	-0,02	0,62	0,28
						AR(1)	-0,53	0,00	
					Beta_1	Intercepto	-0,01	0,75	0,25
						AR(1)	-0,51	0,00	
					Beta_2	Intercepto	-0,02	0,92	0,21
						AR(1)	-0,16	0,00	
					Lambda	Intercepto	0,53	0,00	0,28
						AR(1)	0,54	0,00	

Fuente: Elaboración propia

Una vez desarrollados los modelos, es necesario realizar por lo menos la prueba de estacionariedad de los residuos de cada modelo, para poder afirmar que al menos en el sentido débil, los residuos son estacionarios y por lo tanto son ruido blanco como se representan en el Cuadro 4.

Cuadro 4: PRUEBA DICKEY FULLER AUMENTADA SOBRE LOS RESIDUOS DE CADA MODELO AUTORREGRESIVO

(En valores)

			NSS		
			T-static	P-value	
			Beta_0 AR(1)	-13,09	0,00
			Beta_1 AR(1)	-12,40	0,00
			NS		
			T-static	P-value	
Beta_0 AR(1)	-5,53	0,00	Beta_2 AR(1)	-12,45	0,00
Beta_1 AR(1)	-4,01	0,00	Beta_3 AR(1)	-13,89	0,00
Beta_2 AR(1)	-6,50	0,00	Tau_1 AR(1)	-11,75	0,00
Lambda AR(1)	-4,93	0,00	Tau_2 AR(1)	-13,92	0,00

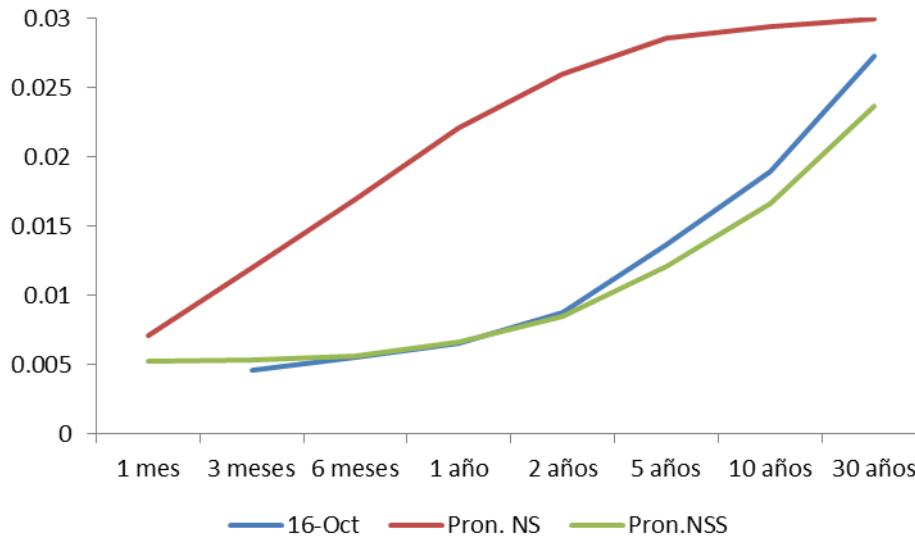
Fuente: Elaboración propia

Consecuentemente y en forma débil, se verifica que los residuos son ruido blanco con lo que es posible pasar al pronóstico de las tasas de interés. Para lo que se utiliza la forma funcional de las ecuaciones para la tasa *spot* tanto de NS como de NSS.

Realizando el pronóstico un paso adelante para el mes siguiente a la última observación, se observa que el pronóstico planteado por la aproximación NSS genera resultados más estables que los de la aproximación NS, ya que el primer modelo es capaz de capturar los cambios en la curvatura ajustando de forma más adecuada la curva de rendimientos.

En particular, comparando la curva estimada con el pronóstico, se observa que el mejor ajuste se presenta en la aproximación de NSS ya que al parecer el modelo NS sobreestima los pronósticos obtenidos (Gráfico 9).

**Gráfico 9: CURVA SPOT AL 16-AGO-2016, NS, NSS
(En porcentaje)**



Fuente: Elaboración propia

En este sentido, el mejor ajuste inmediato lo refleja la modelación autorregresiva de los parámetros de NSS. Cabe mencionar que este tipo de pronósticos no son *forward looking* considerando que el enfoque autorregresivo solamente depende de los rezagos de la variable a estimar, es decir, que si se tiene certeza que en el futuro subirán las tasas, no se las puede incluir en el modelo, por lo que se debe añadir esta observación de manera exógena al modelo original.

En la gráfica también se puede observar que el modelo predice reducción con relación a los valores observados en los tramos superiores a 2 años.

Es posible realizar pronósticos a mayor plazo, sin embargo, no es aconsejable su realización pues mientras el horizonte del pronóstico se incrementa, la incertidumbre sobre el mismo aumentará, especialmente si se considera -como en un principio- que este tipo de series son series sin memoria.

VI. Conclusiones

Los modelos de determinación de estructuras temporales de tasas de interés son útiles cuando no se cuenta con valores intermedios en la curva de rendimientos, y generan aproximaciones de esos puntos sin observación.

En general, la estructura temporal de las tasas de interés, tanto el modelo de Nelson-Siegel como el de Nelson-Siegel-Svensson, muestran aproximaciones aceptables a los valores observados en el mercado.

Los parámetros β de ambos modelos muestran comportamientos muy volátiles, especialmente en los períodos característicos de las crisis internacionales.

Con relación a los pronósticos, la utilización de modelos autorregresivos es útil, pero la especificación AR(1) se ajusta a series financieras sin memoria, es decir procesos de Markov en general.

El modelo Nelson-Siegel-Svensson muestra pronósticos más acertados con relación a los valores observados en el mercado, al ser capaz de capturar los movimientos en la curvatura de la estructura temporal de las tasas de interés.

Este tipo de pronósticos no permite capturar eventos adelantados como una posible subida de tasas de interés de la Reserva Federal, por lo que se debe agregar el mismo como un evento exógeno al modelo.

Para fines de la administración de las reservas internacionales del Banco Central de Bolivia, lo más apropiado es utilizar el modelo Nelson-Siegel-Svensson en caso de querer pronosticar valores futuros de las tasas de interés. En caso de determinar la estructura temporal únicamente de forma estática, tanto el modelo Nelson-Siegel-Svensson como el Nelson-Siegel puro, son aproximaciones adecuadas a las tasas de interés de mercado.

Asimismo, se pueden destacar algunas limitaciones del presente documento que pueden mejorarse en el futuro:

Existen otras aproximaciones como la de Nyholm (2014) en la que utiliza el modelo general de Nelson-Siegel dinámico, pero lo rota de forma que la tasa de interés de largo plazo pasa a ser la de corto plazo, generando una mejor aproximación en términos de interpretación para la tasa de corto plazo, que es la más afectada por la política monetaria en Estados Unidos.

En el pronóstico se pueden aplicar modelos más complejos para corregir la volatilidad existente como modelos ARCH, GARCH o de aproximaciones numéricas como redes neuronales y algoritmos genéticos.

También existen modelos en los que se incluyen como variables explicativas en el pronóstico, indicadores económicos adelantados y de alta frecuencia para la modelación de la estructura temporal de tasas de interés.

Referencias bibliográficas

ANNAERT, J., A. G. P. CLAES, M. J. K. CEUSTER, H. ZHANG (2012). "Estimating The Yield Curve Using The Nelson Siegel Model. A Ridge Regression Approach", Universiteit Antwerpen. Disponible en SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2054689> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2054689>

DIEBOLD, F. and C. LI (2006). "Forecasting the term structure of government bond yields", *Journal of Econometrics*, 130 (2), pp. 337-364

FERSTL, R. and J. HAYDEN (2010). "Zero-Coupon Yield Curve Estimation with the Package termstrc", *Journal of Statistical Software*, 36 (1), pp. 1-34

GILLI, M., S. GROÙE, E. SCHUMANN (2010). "Calibrating the Nelson-Siegel-Svensson model", *Computational Optimization Methods in Statistics, Econometrics and Finance*, WPS-0.31, March

NELSON, C. R. and A. SIEGEL (1987). "Parsimonious Modeling of Yield Curves", *The Journal of Business*, 60 (4), pp. 473-489

NYHOLM, K. (2015). "A rotated Dynamic Nelson-Siegel model with macro-financial applications", European Central Bank, Working Papers Series No. 1851, September

SHREVE, S. (2004). *Stochastic Calculus for Finance II. Continuous-Time Models*, Springer, United States of America

SVENSSON, L. E. O. (1994). "Estimating and Interpreting Forward Interest Rates: Sweden 1992-1994", IMF Working Paper WP/94/114, September

APÉNDICE

**Tabla A.1: PRUEBAS DE RAÍZ UNITARIA SOBRE LAS SERIES EN NIVELES
MODELO NS**

<p>Null Hypothesis: BETA0 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 7 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: center;">t-Statistic</th> <th style="width: 20%; text-align: center;">Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td style="text-align: center;">-2.768505</td> <td style="text-align: center;">0.0648</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">1% level</td> <td style="text-align: center;">-3.464460</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">5% level</td> <td style="text-align: center;">-2.876435</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">10%level</td> <td style="text-align: center;">-2.574788</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.768505	0.0648	Test critical values:			1% level	-3.464460		5% level	-2.876435		10%level	-2.574788		<p>Null Hypothesis: BETA1 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 8 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: center;">t-Statistic</th> <th style="width: 20%; text-align: center;">Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td style="text-align: center;">-2.506045</td> <td style="text-align: center;">0.1156</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">1% level</td> <td style="text-align: center;">-3.464643</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">5% level</td> <td style="text-align: center;">-2.876515</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">10%level</td> <td style="text-align: center;">-2.574831</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.506045	0.1156	Test critical values:			1% level	-3.464643		5% level	-2.876515		10%level	-2.574831	
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.768505	0.0648																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.464460																																				
5% level	-2.876435																																				
10%level	-2.574788																																				
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.506045	0.1156																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.464643																																				
5% level	-2.876515																																				
10%level	-2.574831																																				
<p>Null Hypothesis: BETA2 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 9 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: center;">t-Statistic</th> <th style="width: 20%; text-align: center;">Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td style="text-align: center;">-2.886688</td> <td style="text-align: center;">0.0488</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">1% level</td> <td style="text-align: center;">-3.464827</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">5% level</td> <td style="text-align: center;">-2.876595</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">10%level</td> <td style="text-align: center;">-2.574874</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.886688	0.0488	Test critical values:			1% level	-3.464827		5% level	-2.876595		10%level	-2.574874		<p>Null Hypothesis: LAMBDA has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 2 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: center;">t-Statistic</th> <th style="width: 20%; text-align: center;">Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td style="text-align: center;">-3.789645</td> <td style="text-align: center;">0.0036</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">1% level</td> <td style="text-align: center;">-3.463576</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">5% level</td> <td style="text-align: center;">-2.876047</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">10%level</td> <td style="text-align: center;">-2.574581</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.789645	0.0036	Test critical values:			1% level	-3.463576		5% level	-2.876047		10%level	-2.574581	
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.886688	0.0488																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.464827																																				
5% level	-2.876595																																				
10%level	-2.574874																																				
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.789645	0.0036																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.463576																																				
5% level	-2.876047																																				
10%level	-2.574581																																				

**Tabla A.2: PRUEBAS DE RAÍZ UNITARIA SOBRE LAS SERIES EN NIVELES
MODELO NSS**

<p>Null Hypothesis: BETA0 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 7 (Automatic - based on AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-1.971624</td> <td>0.2993</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.464460</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.876435</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574788</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.971624	0.2993	Test critical values:			1% level	-3.464460		5% level	-2.876435		10%level	-2.574788		<p>Null Hypothesis: BETA1 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 8 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-2.457704</td> <td>0.1276</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.464643</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.876515</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574831</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.457704	0.1276	Test critical values:			1% level	-3.464643		5% level	-2.876515		10%level	-2.574831	
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.971624	0.2993																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.464460																																				
5% level	-2.876435																																				
10%level	-2.574788																																				
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.457704	0.1276																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.464643																																				
5% level	-2.876515																																				
10%level	-2.574831																																				
<p>Null Hypothesis: BETA2 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 5 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-3.112247</td> <td>0.0273</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.464101</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.876277</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574704</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.112247	0.0273	Test critical values:			1% level	-3.464101		5% level	-2.876277		10%level	-2.574704		<p>Null Hypothesis: BETA3 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 7 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-2.383521</td> <td>0.1478</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.464460</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.876435</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574788</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.383521	0.1478	Test critical values:			1% level	-3.464460		5% level	-2.876435		10%level	-2.574788	
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.112247	0.0273																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.464101																																				
5% level	-2.876277																																				
10%level	-2.574704																																				
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.383521	0.1478																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.464460																																				
5% level	-2.876435																																				
10%level	-2.574788																																				
<p>Null Hypothesis: TAU1 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 9 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-2.541149</td> <td>0.1074</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.464827</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.876595</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574874</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.541149	0.1074	Test critical values:			1% level	-3.464827		5% level	-2.876595		10%level	-2.574874		<p>Null Hypothesis: TAU2 has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 7 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-2.818379</td> <td>0.0575</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.464460</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.876435</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574788</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.818379	0.0575	Test critical values:			1% level	-3.464460		5% level	-2.876435		10%level	-2.574788	
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.541149	0.1074																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.464827																																				
5% level	-2.876595																																				
10%level	-2.574874																																				
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.818379	0.0575																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.464460																																				
5% level	-2.876435																																				
10%level	-2.574788																																				

Tabla A.3: PRUEBAS DE RAÍZ UNITARIA SOBRE LAS SERIES EN PRIMERAS DIFERENCIAS MODELO NS

<p>Null Hypothesis: D(BETA0) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 3 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th align="right">t-Statistic</th> <th align="right">Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td align="right">-6.539814</td> <td align="right">0.0000</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td align="right">-3.463924</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td align="right">-2.876200</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td align="right">-2.574663</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.539814	0.0000	Test critical values:			1% level	-3.463924		5% level	-2.876200		10%level	-2.574663		<p>Null Hypothesis: D(BETA1) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 5 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th align="right">t-Statistic</th> <th align="right">Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td align="right">-5.056752</td> <td align="right">0.0000</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td align="right">-3.464280</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td align="right">-2.876356</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td align="right">-2.574746</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.056752	0.0000	Test critical values:			1% level	-3.464280		5% level	-2.876356		10%level	-2.574746	
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-6.539814	0.0000																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.463924																																				
5% level	-2.876200																																				
10%level	-2.574663																																				
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.056752	0.0000																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.464280																																				
5% level	-2.876356																																				
10%level	-2.574746																																				
<p>Null Hypothesis: D(BETA2) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th align="right">t-Statistic</th> <th align="right">Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td align="right">-23.11465</td> <td align="right">0.0000</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td align="right">-3.463405</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td align="right">-2.875972</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td align="right">-2.574541</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-23.11465	0.0000	Test critical values:			1% level	-3.463405		5% level	-2.875972		10%level	-2.574541		<p>Null Hypothesis: D(LAMBDA) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th align="right">t-Statistic</th> <th align="right">Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td align="right">-20.39402</td> <td align="right">0.0000</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td align="right">-3.463405</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td align="right">-2.875972</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td align="right">-2.574541</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-20.39402	0.0000	Test critical values:			1% level	-3.463405		5% level	-2.875972		10%level	-2.574541	
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-23.11465	0.0000																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.463405																																				
5% level	-2.875972																																				
10%level	-2.574541																																				
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-20.39402	0.0000																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.463405																																				
5% level	-2.875972																																				
10%level	-2.574541																																				

Tabla A.4: PRUEBAS DE RAÍZ UNITARIA SOBRE LAS SERIES EN PRIMERAS DIFERENCIAS MODELO NSS

<p>Null Hypothesis: D(BETA0) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-22.34000</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.463405</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.875972</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574541</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-22.34000	0.0000	Test critical values:			1% level	-3.463405		5% level	-2.875972		10%level	-2.574541		<p>Null Hypothesis: D(BETA1) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-21.97476</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.463405</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.875972</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574541</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-21.97476	0.0000	Test critical values:			1% level	-3.463405		5% level	-2.875972		10%level	-2.574541	
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-22.34000	0.0000																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.463405																																				
5% level	-2.875972																																				
10%level	-2.574541																																				
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-21.97476	0.0000																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.463405																																				
5% level	-2.875972																																				
10%level	-2.574541																																				
<p>Null Hypothesis: D(BETA2) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-20.71305</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.463405</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.875972</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574541</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-20.71305	0.0000	Test critical values:			1% level	-3.463405		5% level	-2.875972		10%level	-2.574541		<p>Null Hypothesis: D(BETA3) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-22.21428</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.463405</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.875972</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574541</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-22.21428	0.0000	Test critical values:			1% level	-3.463405		5% level	-2.875972		10%level	-2.574541	
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-20.71305	0.0000																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.463405																																				
5% level	-2.875972																																				
10%level	-2.574541																																				
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-22.21428	0.0000																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.463405																																				
5% level	-2.875972																																				
10%level	-2.574541																																				
<p>Null Hypothesis: D(TAU1) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-20.94437</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.463405</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.875972</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574541</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-20.94437	0.0000	Test critical values:			1% level	-3.463405		5% level	-2.875972		10%level	-2.574541		<p>Null Hypothesis: D(TAU2) has a unit root Exogenous: Constant Lag Length: 0 (Automatic - based on Modified AIC, maxlag=14)</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>t-Statistic</th> <th>Prob.*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Augmented Dickey-Fuller test statistic</td> <td>-26.09223</td> <td>0.0000</td> </tr> <tr> <td>Test critical values:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td> 1% level</td> <td>-3.463405</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 5% level</td> <td>-2.875972</td> <td></td> </tr> <tr> <td> 10%level</td> <td>-2.574541</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <hr/> <p>*MacKinnon (1996) one-sided p-values.</p>		t-Statistic	Prob.*	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-26.09223	0.0000	Test critical values:			1% level	-3.463405		5% level	-2.875972		10%level	-2.574541	
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-20.94437	0.0000																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.463405																																				
5% level	-2.875972																																				
10%level	-2.574541																																				
	t-Statistic	Prob.*																																			
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-26.09223	0.0000																																			
Test critical values:																																					
1% level	-3.463405																																				
5% level	-2.875972																																				
10%level	-2.574541																																				

Tabla A.5: ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE FACTORES DEL MODELO NS

Dependent Variable: D(BETA0) Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH) Date: 12/19/16 Time: 17:06 Sample: 2000M02 2016M08 Included observations: 199 Convergence achieved after 67 iterations Coefficient covariance computed using outer product of gradients					Dependent Variable: D(BETA1) Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH) Date: 12/19/16 Time: 17:07 Sample: 2000M02 2016M08 Included observations: 199 Convergence achieved after 50 iterations Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.015937	0.032531	-0.489888	0.6248	C	-0.010756	0.034267	-0.313885	0.7539
AR(1)	-0.534656	0.023063	-23.18267	0.0000	AR(1)	-0.505438	0.027839	-18.15574	0.0000
SIGMASQ	0.482514	0.016265	29.66652	0.0000	SIGMASQ	0.523800	0.020551	25.48753	0.0000
R-squared	0.288495	Mean dependent var	-0.016645		R-squared	0.257653	Mean dependent var	-0.009880	
Adjusted R-squared		S.D. dependent var			Adjusted R-squared		S.D. dependent var		
R-squared	0.281235	var	0.825581		R-squared	0.250078	S.D. dependent var	0.842118	
S.E. of regression	0.699928	Akaike info criterion	2.140974		S.E. of regression	0.729258	Akaike info criterion	2.222864	
Sum squared resid	96.02025	Schwarz criterion	2.190622		Sum squared resid	104.2361	Schwarz criterion	2.272512	
Log likelihood	-210.0269	Hannan-Quinn criter.	2.161068		Log likelihood	-218.1750	Hannan-Quinn criter.	2.242958	
F-statistic	39.73626	Durbin-Watson stat	2.153419		F-statistic	34.01371	Durbin-Watson stat	2.093381	
Prob(F-statistic)	0.000000				Prob(F-statistic)	0.000000			
Inverted AR Roots	-.53				Inverted AR Roots	-.51			

Tabla A.6: ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE FACTORES DEL MODELO NS

Dependent Variable: D(BETA2) Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH) Date: 12/19/16 Time: 17:08 Sample: 2000M02 2016M08 Included observations: 199 Convergence achieved after 64 iterations Coefficient covariance computed using outer product of gradients					Dependent Variable: LAMBDA Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH) Date: 12/19/16 Time: 17:10 Sample: 2000M01 2016M08 Included observations: 200 Convergence achieved after 16 iterations Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.015324	0.147903	-0.103605	0.9176	C	0.529386	0.034726	15.24465	0.0000
AR(1)	-0.460915	0.024479	-18.82896	0.0000	AR(1)	0.540514	0.065761	8.219376	0.0000
SIGMASQ	9.270480	0.378526	24.49098	0.0000	SIGMASQ	0.047440	0.004944	9.594788	0.0000
R-squared	0.214570	Mean dependent var	-0.015094		R-squared	0.291927	Mean dependent var	0.531470	
Adjusted R-squared		S.D. dependent var			Adjusted R-squared		S.D. dependent var		
R-squared	0.206556	var	3.444224		R-squared	0.284738	S.D. dependent var	0.259492	
S.E. of regression	3.067959	Akaike info criterion	5.096063		S.E. of regression	0.219460	Akaike info criterion	-0.178676	
Sum squared resid	1844.826	Schwarz criterion	5.145711		Sum squared resid	9.488086	Schwarz criterion	-0.129201	
Log likelihood	-504.0583	Hannan-Quinn criter.	5.116157		Log likelihood	20.86757	Hannan-Quinn criter.	-0.158654	
F-statistic	26.77244	Durbin-Watson stat	2.225318		F-statistic	40.60988	Durbin-Watson stat	2.170455	
Prob(F-statistic)	0.000000				Prob(F-statistic)	0.000000			
Inverted AR Roots	-.46				Inverted AR Roots	.54			